

УДК 621.771.6

## Вибір та моделювання процесу формозмінювання деталей шаруватого ударостійкого елемента

Шлик С.В., Щетинін В.Т., Молоштан Д.В., Драгобецький В.В., Шаповал О.О., Аргат Р.Г.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна

**Анотація.** Розроблено ударостійкий шаруватий елемент, що складається з двох зовнішніх шарів із високо жорсткого матеріалу та внутрішнього шару із в'язкопружного матеріалу. Елемент зменшує броньову дію на об'єкт, що захищається. Особливість конструкції полягає в тому, що зовнішня деталь має вигин зі стрілою прогину в межах 10...15 товщин, та має з'єднання зовнішніх шарів із високожорсткого матеріалу по протилежних краях скобами з пластичного матеріалу, який при пластичному деформуванні затікає у крайові отвори, що виконані співвісно у зовнішніх шарах, з внутрішньої сторони ударостійкого елемента прикріплено амортизуючий шар з еластичного спіненого полімерного матеріалу, тильна поверхня якого відповідає поверхні об'єкта, що захищається. Для виготовлення деталей розроблено спосіб гнуття листових деталей при якому здійснюють підгинання полиць деталі з елементом вигину з подальшим їх розпрямленням. Метою є підвищення продуктивності процесу та точності геометричних розмірів деталі, перед розпрямленням полиць заготовки її встановлюють торцями полиць на плоску поверхню порожню між фіксуючими планками з подальшим розпрямленням полиць пуансоном з плоскою робочою поверхнею. Моделювання процесу самочинного формоутворення деталей «Лист верхній ударостійкого елемента» за зворотною та прямою схемами виконано методом скінченних елементів у системі AnSYS/AutoDYN. Метою дослідження є розробка технології і моделювання процесу формозмінювання листових деталей ударостійкого елемента.

**Ключові слова:** ударостійкий елемент, самочинне згинання, удар, броньове ураження.

**Метою** дослідження є розробка технології і моделювання процесу формозмінювання листових деталей ударостійкого елемента. Для швидкого впровадження у виробництво та експлуатацію необхідно застосовувати універсальне та найпростіше обладнання. При виборі технологій формоутворення згинання за наявною технологією суттєвого зниження зусиль, формоутворення досягається в процесах гнуття ступеневим пуансоном унаслідок його обтискування. За новою схемою самочинного формоутворення рифта (рис.1) потрібне зусилля зменшується у 2–5 разів [1].

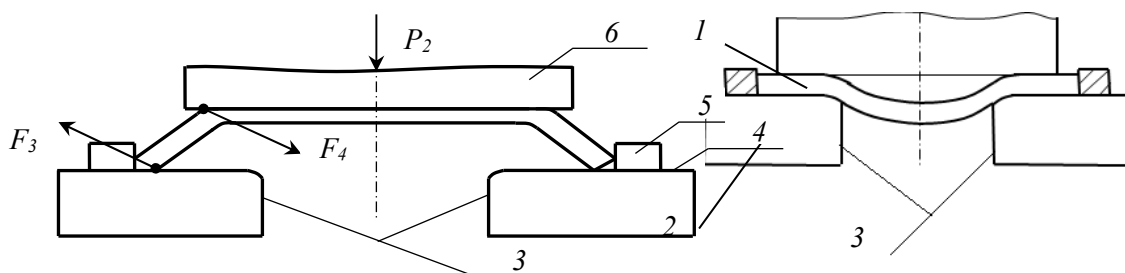


Рис. 1. Нова схема самочинного формоутворення рифта (1 – заготовка; 2 – полка; 3, 4 – елементи матриці; 5 – фіксувальні планки; 6 – пуансон)

Явище удару – це динамічний процес взаємодії, коли середовище, що контактує, зазнає серйозних змін з точки зору деформацій форми, зміни властивостей матеріалу та подібних фізичних змін за відносно короткий час. Як висловив Рамеш [2], вплив має три основні наслідки, а саме: розповсюдження напружень або ударних хвиль, структурну динаміку та проблеми вібрації, і, як зазначено раніше, великі непружні деформації із типово високими швидкостями. Що стосується ступеня поглинання енергії, залежність від цих непружних деформацій

(характеризуються деформаціями) є найвищою, за якою йдуть характеристики поширення хвилі. Проблеми з вібрацією безпосередньо не впливають на загальну поглинуту енергію.

Запропонована конструкція належить до ударостійких елементів космічних апаратів та наземного транспорту. Відомі ударостійкі елементи, що складаються з зовнішніх шарів високожорсткого матеріалу (жорсткість 55...60 HRC) та проміжного шару з в'язкого матеріалу. З'єднання шарів виконується зварюванням вибухом, пакетною прокаткою, болтами тощо [3]. Недолік цих ударостійких елементів полягає у обмежених можливостях по запобіганню заброньового ураження захищаних об'єктів.

В основу запропонованої конструкції поставлена задача запобігання заброньового ураження за рахунок додаткових енергетичних втрат ударника та перерозподілу діючих навантажень.

Суть конструкції ударостійкого елемента пояснюють рисунки 2–3, на яких зображені загальний вигляд та конструкція розробленого ударостійкого елемента і процес його деформації під дією навантаження з боку ударника.

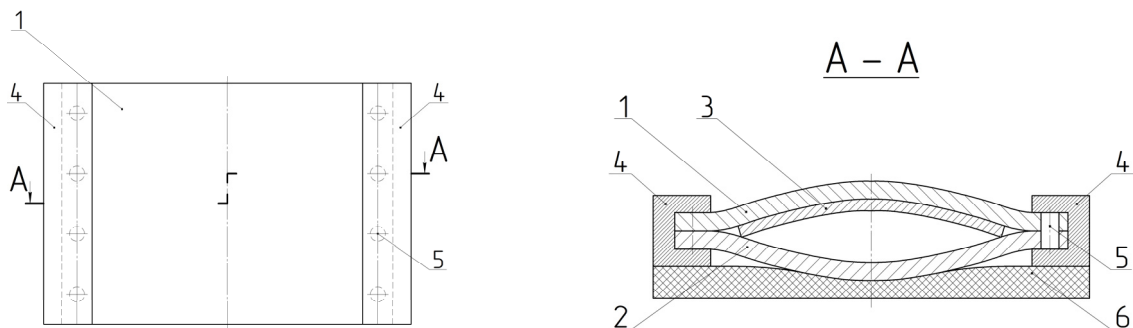


Рис. 2. Загальний вид розробленого ударостійкого елемента із вказаною площиною перетину: 1, 2 – зовнішні пластини з високожорсткого матеріалу; 3 – внутрішня пластина з в'язкопружного матеріалу; 4 – скоби із пластичного матеріалу; 5 – отвори; 6 – амортизуючий шар

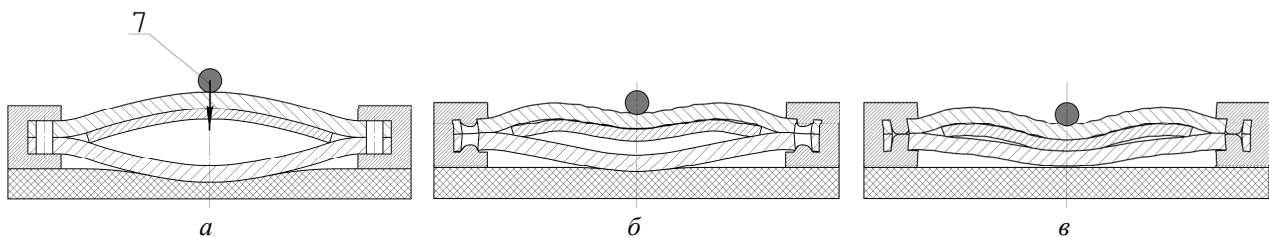


Рис. 3. Переріз ударостійкого елемента вздовж вісї обертавання бічних отворів 5: а – з показаним жорстким ударником 7 у момент зіткнення; б – процес деформації зовнішніх пластин із високожорсткого матеріалу, відкол внутрішнього в'язкопружного шару та затікання матеріалу скоб із пластичного матеріалу у бічні отвори під дією навантаження з боку ударника; в – кінцева стадія деформування ударостійкого елемента, що супроводжується зіткненням зовнішніх шарів із високожорсткого матеріалу з внутрішнім в'язкопружним шаром та затіканням матеріалу скоб із пластичного матеріалу у бічні отвори

Ударостійкий шаруватий елемент має вигин зі стрілою прогину в межах 10...15 товщин та складається з зовнішніх високожорстких 1, 2 та внутрішнього в'язкопружного 3 шарів. Шари високожорсткого матеріалу 1, 2 з'єднані по двох протилежних краях та обмежені скобами з пластичного матеріалу 4, який затікає при пластичному деформуванні у співвісні отвори 5, розташовані у пластинах з високожорсткого матеріалу. З зовнішньої сторони поверхні пластини з високожорсткого матеріалу 2 може бути розташовано додатковий амортизуючий шар 6, наприклад, з еластичного спіненого полімерного матеріалу.

Ударостійкий елемент працює наступним чином (рис. 3): при зіткненні зовнішньої поверхні пластини з високожорсткого матеріалу 1 із ударником 7 відбувається згин високожорсткого шару 1, та відкол в'язкопружного шару 3. При вигині високожорсткого шару 1 протилежні краї з'єднаних високожорстких шарів 1 та 2 розходяться. Вигин пластини 2 зменшується. Поверхні шару 2 рухаються на зустріч в'язкопружному шару 3, що відколовся, високожорсткому шару 1 та ударнику 7. Кінетична енергія ударника 7 витрачається на згин високожорсткого шару 1, відкол в'язкопружного шару 3 та його коливання, розгинання високожорсткого шару 2 та його переміщення у зустрічному до ударника 7 напрямку, що є протилежним від об'єкту, що захищається.

Надійність з'єднання та одночасність руху пластин із високожорсткого матеріалу 1 та 2 забезпечується тиском з боку матеріалу скоб із пластичного матеріалу 4, який затікає у отвори пластин 5. Загальний вигляд ударостійкого шаруватого елемента запропонованої конструкції показаний на рис. 4.

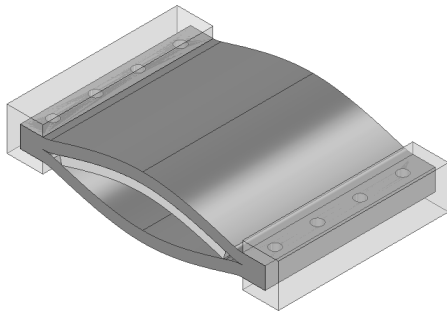


Рис. 4. Загальний вигляд ударостійкого шаруватого елемента (бічні скоби показані прозорими)

Ураховуючи те, що спеціалізовані та ремонтні підприємства не мають достатньо потужного обладнання з можливістю формотворення заготовок необхідних габаритів проведено аналіз методів формування листових деталей транспортних засобів. Перевагу надано технологіям і технологічному оснащенню, які спрямовані на створення умов для деформування заготовок під дією реактивних складових, послідовному деформуванню [4] з максимальним використанням пружного розвантаження пресового обладнання та штампа.

Моделювання процесу самочинного формотворення деталей «Лист верхньої ударостійкого елемента» за зворотною та прямою схемами

виконано методом скінченних елементів у системі AnSYS/AutoDYN. Результати розрахунків показані на рис. 5.

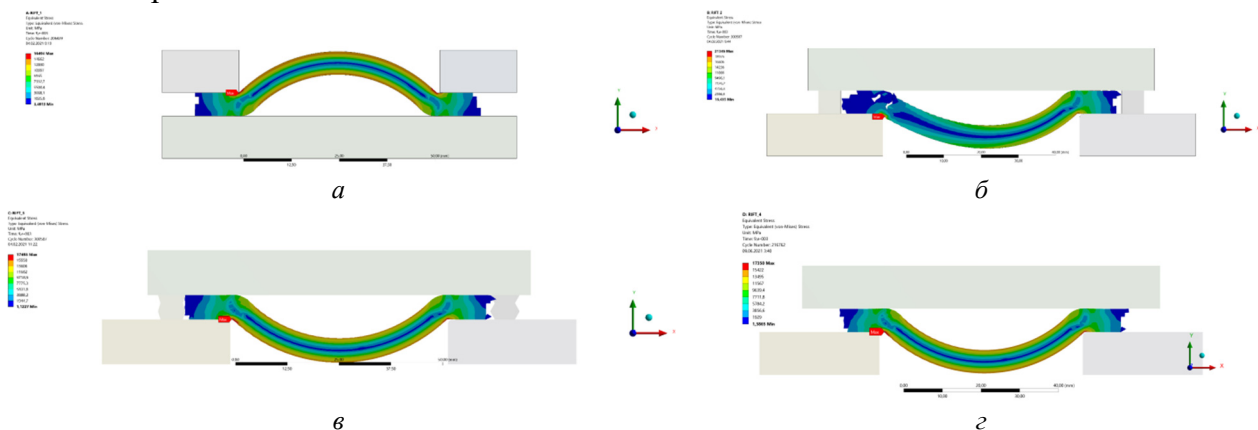


Рис. 5. Еквівалентні напруження (за фон Мізесом), МПа (а – Схема 1 (пряма технологічна схема); б – Схема 2 (зворотна технологічна схема з нерухомими упорами); в – Схема 3 (зворотна технологічна схема з рухомими упорами); г – Схема 4 (зворотна технологічна схема без упорів))

Усі чотири схеми забезпечують майже рівні розтягувальні та стискальні напруження у відповідно зовнішньому та внутрішньому шарах матеріалу заготовки, що забезпечує рівномірність деформації та зменшує вірогідність утворення тріщин матеріалу. Зворотні технологічні

схеми з рухомими упорами та без упорів (схеми 3 та 4) забезпечують найбільші значення прогинів у середній зоні елемента жорсткості. Наявна технологічна схема (схема 1) забезпечує найнижче значення прогинів у середній зоні, що робить її менш технологічно ефективною за потреби виконання елемента жорсткості більшої висоти, а також може спричинити невідповідність отриманої висоти елемента жорсткості потрібній.

З огляду на викладене, а також на те, що у разі формоутворення за наданою технологічною схемою з рухомими упорами з докладанням до них демпфувального зусилля напрям векторів швидкості течії матеріалу є відносно рівномірним і симетричним, а значення прогину у середній зоні елемента жорсткості є найвищим, формоутворення за схемою 3 є найбільш технологічно ефективним і забезпечує найкращі параметри формоутворення.

Очікується, що застосування запропонованого ударостійкого шаруватого елемента суттєво, у 5–6 разів, зменшує заброньову дію на об'єкт, що захищається, у порівнянні із пласкими шаруватими ударостійкими елементами з аналогічних матеріалів. Крім того, використання аналогічних конструкцій у якості обшивок, облицювальних та кузовних деталей наземного транспорту запобігає виникненню вм'ятин та інших пошкоджень унаслідок ударних уражень.

### Висновки

Запропонована нова конструкція ударостійкого елемента, що складається з зовнішніх шарів високожорсткого матеріалу та проміжного шару з в'язкого матеріалу. В основу запропонованої конструкції поставлена задача запобігання заброньового ураження за рахунок додаткових енергетичних втрат ударника та перерозподілу діючих навантажень. Використання аналогічних конструкцій у якості обшивок, облицювальних та кузовних деталей наземного транспорту запобігає виникненню вм'ятин та інших пошкоджень унаслідок балістичних уражень.

### Список літератури

1. Пат. 35215 України, МКИ В26F 1/00. Спосіб виготовлення деталей з напівкруглими ребрами жорсткості / Загірняк М.В., Драгобецький В.В., Циган Б.Г., Сидоренко К.В., Фомін В.В., Новіков В.Р., Мосьпан Д.В. / Заявл. 28.03.2008, Опубл. 10.09.2008. Бюл.№17. – 2 с.
2. V.A. Galanov, S.M. Ivanov, V.V. Kartuzov, On one new modification of Alekseevskii-Tate model for non-stationary penetration of long rods into targets, Int. J. Impact Eng., 26, 201-210, 2001.
3. Материалы и защитные структуры для локального и защитного бронирования / В. А. Григорян, И. Ф. Кобылкин, В. М. Маринин, Е. Н. Чистяков. Под ред. В. А. Григоряна. – М.: Изд. РадиоСофт, 2008. – С. 130.
4. Фролов Е. А. Новый метод штамповки деталей из листа энергией детонирующих газовых смесей. Импульсная обработка металлов давлением. М.: Машиностроение, 1979. 130 с.

## Layered shock-resistant element parts shape change process selection and modeling

Shlyk S., Shchetynin V., Moloshtan D., Drahobetskyi V., Shapoval A., Arhat R.

**Abstract:** An impact-resistant layered element consisting of two outer layers from highly rigid material and an inner layer from viscoelastic material has been developed. The item reduces the barring effect on the protected object. The design peculiarity is that the outer part has a bend with a deflection arrow within 10... 15 thicknesses, and has a connection of the outer layers from high-stiff material on opposite edges with staples from plastic material, which during plastic deformation flows into the edge holes coaxially in the outer layers, on the inner side of the impact-resistant element is attached a shock-absorbing layer from elastic foamed polymeric material, the back surface of which corresponds to the surface of the protected object. For the parts manufacture it has been developed bending sheet parts method in which the bending the part shelves with a bending element with their subsequent straightening. The aim is to increase the process productivity and the geometric dimensions' accuracy of the part. Modeling the process of parts spontaneous forming "Impact-resistant element upper sheet" on the reverse and direct schemes is performed by the finite element method in the AnSYS / AutoDYN system. The study purpose is to develop technology and modeling the process of the impact-resistant element sheet parts deformation.

**Keywords:** shock-resistant element, spontaneous bending, impact, armor damage.